植被降溫技術於溫室操作夏季反季節蔬菜生產之研究

王毓華 [1], 姚銘輝 [2], 向為民 [3]

[1]行政院農委會農業試驗所 副研究員
[2]行政院農委會農業試驗所 研究員，通訊作者
[3]行政院農委會農業試驗所 研究員

摘要

國內設施蔬菜生產，主要的問題在於夏季高溫造成作物生理障害。本研究利用冷卻系統調節根域以及植被的溫度；期能於夏季高溫期間以最少的能量投入，於溫室內生產高品質蔬菜。茼蒿為目標作物，其夏季栽培有提早抽苔開花與頂燒等生理障害現象。

本計劃由 101 年 6 月起至 102 年 7 月止共進行八期作的蔬菜層架立體栽培試驗。人工光源補光，於中、下層間，光照最高可達 500-600 μmol-m^{-2}-sec^{-1}，第四期作起，光照控制在 200 μmol-m^{-2}-sec^{-1}。第一至第四期作，作物群落周圍溫度，日間高溫控制在 25-30℃之間，根箱內溫度至第四期作之後可穩定控制在 23-26℃之間。

試驗結果顯示溫室內之自然光照受氣候影響極為不穩定，第一期作平均值約為 500 μmol-m^{-2}-sec^{-1}，第二期作受陰雨影響，自然日照明顯不足，其產量與補光處理間，顯著性差異存在；補光處理明顯提高單株重量。第四期作起，第二層及第三層補光處理的日間光照穩定調整在 200-300 μmol-m^{-2}-sec^{-1} 之間。第四、五、六期作以 T5 燈管補光下植株生育情形最佳，單株重最大、側芽數多；LED 補光次之、自然光照最差。

關鍵詞：設施蔬菜栽培、立體層架栽培、溫室環控。

一、前言

台灣由於日照、溫度和雨量等氣候條件的不穩定，蔬菜的供應量常因季節性或環境異常的災害，導致供需失衡；市場價格的波動劇烈。具有防雨功能栽培蔬菜的溫網室現約 200 公頃，應有大幅增加的需求；惟夏季熱累積問題嚴重且高溫障害的對策技術仍未確立。

國內設施蔬菜產量仍遠低於先進國家之溫室產能，例如康乃爾大學溫室水耕栽培萵苣產量的 68 kg/m^2/year 以及荷蘭溫室番茄產量的 76.2 kg/m^2/year。提高單位面積產能的研究方向，不外由提高栽培密度與生長速率著手；也就是針對降低逆境、提高光合作用效能、立體化栽培、密植與週年生產等建立關鍵技術。荷蘭溫室環控技術著重的範圍有：空間有效利用、離土栽培、溫室環控工程、高產量品種。日本的植物工場技術的發展則朝向低成本環控技術與離土養液栽培。

本研究之目的在於開發節能型的作物群落降溫方法，侷限 20-30cm 範圍之控制，以期達成節能降溫之需求且確保蔬菜於高溫逆境下的生產；以立體化栽培、人工光源補光、以及二氧化碳施放等工廠化生產技術，增加設施蔬菜單位面積的年產量。研究團隊於民國 101 間建立三層栽培層架之試驗平台，進行茼蒿周年栽培技術研發；自夏季高溫期(6 月)開始連續進行 8 期作茼蒿栽培試驗，以根溫箱方式控制作物群落(canopy)之溫度、以 T5 螢光燈管及 T8 LED 燈管補光，且於光合作用旺盛時添加二氧化碳，觀察作物之生育與產量。

二、材料與方法

（一）層架式研究平台

水牆風扇塑膠布溫室中，以三層栽培架兩座作為植物工廠栽培之主體(圖 1)，以根溫箱方式種植葉菜類作物，根溫箱內置冷排管控溫，溫度控制以作物群落(canopy)之溫度計測值為基準。濕度未作控制，濕度於白天在 70-80%，夜間則在 85-95%之間。

最上層為自然光照，第二層及第三層則以人工光源補光。光源有兩種，T5 螢光燈管及 T8 LED 燈管，每一層架共有四個燈盤，每一燈盤裝置 9 支 120 公分長的燈管， 燈盤可隨作物生長調整高度。第二層及第三層亦施放二氧化碳，由純氣體鋼瓶提供；僅在早上 9-11 點間，蔬菜葉片光合作用旺盛時添加。施放時於層架兩側放下塑膠布帷幕隔離，純二氧化碳經與外界空氣混合成固定濃度(800 ppm)，再經由管線在作物群落間施放，並由風扇擾動使空氣均勻，停止施放之同時升起帷幕。

圖 2 為不同層架所配置之感測器，裝置於層架中間位置，並連結於資料收集器(data logger)，每 10 分鐘記錄一次。同時於層架上方裝置攝影機，經由影像資料分析覆蓋率，以建立不同葉菜類蔬菜之作物生長曲線，作為栽培管理及施肥控制的參考依據。

（二）夏季茼蒿立體栽培之研究

10 年 6 月開始連續進行 8 期作茼蒿栽培試驗，第一期作以 T5 燈管為光源，惟生長期間中、下層光照(PAR)僅達 100-200 μmol-m^{-2}-sec^{-1} 之間，與目標值 500 μmol-m^{-2}-sec^{-1} 之差異太大。第二期作調整螢光燈管支數並另設 T8 LED 燈管處理，光度控制可達 500-600 μmol-m^{-2}-sec^{-1}。

各期作茼蒿栽培試驗研究說明如下：

1. 第一期作以裂葉茼蒿和圓葉茼蒿為試驗材料，第二期以後圓葉茼蒿為試驗材料；層架之第二、三層採人工光源補光，最上層為自然光照。試驗採 CRD，三重複。穴盤育苗後移植至層架，泥炭土介植栽培，每盆 1 株，並以養液滴灌方式管理。每重複逢機採收 10 株，調查單株重、株高、株寬、葉數、側芽數，並選取最大葉片，測量葉長及葉寬。
2. 播種、定植及採收日期：第一期作 6 月 1 日播種，6 月 18 日定植，7 月 5 日採收，第二期作 8 月 1 日播種、8 月 13 日定植、9 月 5 日採收，第三期作 9 月 10 日播種、9 月 26 日定植、10 月 15 日採收，第四期作 10 月 8 日播種、10 月 24 日定植、11 月 13 日採收。第五期作自隔年(102 年)2 月起每隔 2 個月播種一次。

圖 1 層架式研究平台之佈置

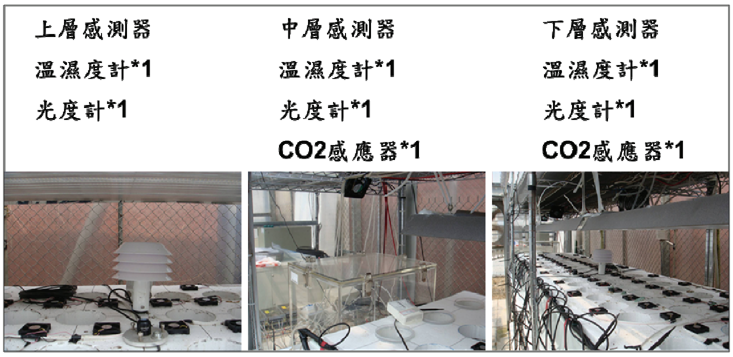

圖 2 研究平台不同層架感測器之配置。

三、結果

第一期作栽培層架之中、下層光照(PAR)不足，僅在 100-200 μmol-m^{-2}-sec^{-1}，應為單株產量最主要的影響因子。第二期作中、下層之 PAR 可達 500-600 μmol-m^{-2}-sec^{-1} (圖 3)，根箱內與作物植被溫度如圖 4；第四期作光照控制在 200 μmol-m^{-2}-sec^{-1} 之間(圖 5) ，根箱內與作物植被溫度如圖 6。植株園藝性狀調查結果如表 1-6 所示。

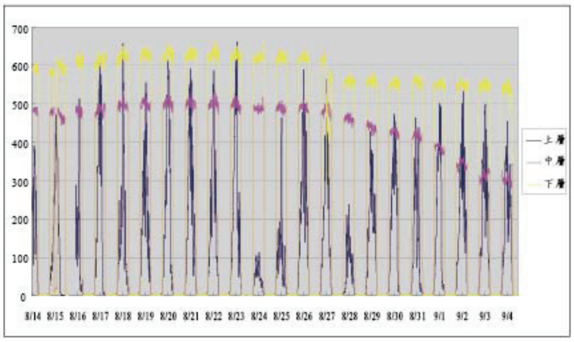

圖 3 研究平台第 2 期作不同層次光照(PAR, μmol-m^{-2}-sec^{-1})分布。

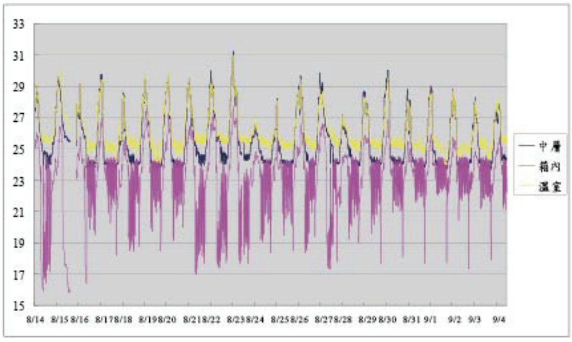

圖 4 研究平台第 2 期作根箱內與作物植被溫度(Degree C)分布。

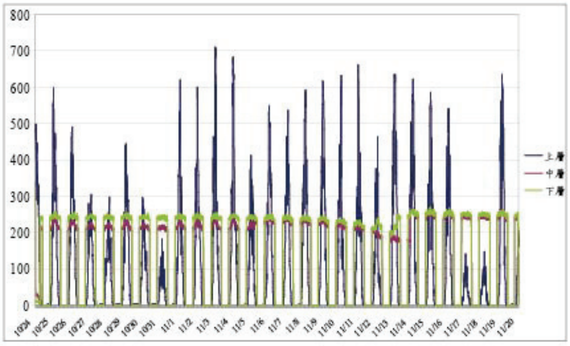

圖 5 研究平台第 4 期作不同層次光照(PAR, μmol-m^{-2}-sec^{-1})分布。

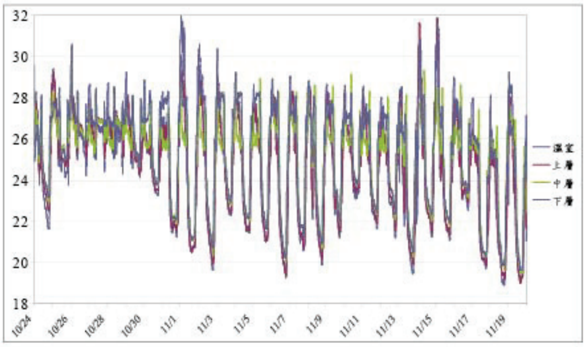

圖 6 研究平台第 4 期作作物植被溫度(Degree C)分布。

表 1 裂葉茼蒿及圓葉茼蒿於不同補光處理下植株園藝性狀(第 1 期作 ^{z})

補光處理	單株重 (g)	株高 (cm)	株寬 (cm)	葉數	側芽數	葉長 (cm)	葉寬 (cm)
裂葉茼蒿							
自然光照	21.7±3.4	17.9±3.0	21.3±2.2	18.6±2.8	15.1±2.2	14.1±2.1	5.4±0.8
T8 補光(第二層)	6.8±4.2	10.4±3.3	18.1±4.6	16.6±3.6	5.8±4.8	10.3±2.5	3.9±2.1
T8 補光(第三層)	6.4±3.2	7.7±3.0	17.9±4.1	15.5±3.5	4.9±3.6	10.9±2.1	3.6±0.9
圓葉茼蒿							
自然光照	23.0±5.3	5.6±3.7	27.2±3.4	11.8±1.7	1.6±3.6	15.5±1.7	7.7±1.1
T8 補光(第二層)	7.0±3.5	3.4±2.0	18.5±3.8	10.0±1.7	0.2±0.6	11.3±2.0	4.3±1.0
T8 補光(第三層)	6.4±2.9	3.5±2.9	19.0±4.5	10.1±2.1	0.6±1.7	10.9±1.6	4.2±1.1

^{z}播種：101 年 6 月 1 日、定植：6 月 18 日、採收：7 月 5 日， mean ± SD

表 2 圓葉茼蒿於補光處理下植株園藝性狀(第 2 期作 z)

補光處理	單株重 (g)	株高 (cm)	株寬 (cm)	葉數	側芽數	葉長 (cm)	葉寬 (cm)	SPAD
自然光照	22.1±4.8	12.2±2.3	23.9±3.7	14.3±1.3	1.1±1.4	15.7±1.9	7.4±1.0	26.0±4.0
LED 補光(第二層)	39.7±1.5	11.0±1.6	23.2±3.1	15.5±3.5	3.8±1.5	14.6±1.3	8.5±3.2	32.5±3.7
LED 補光(第三層)	40.8±6.7	11.8±2.8	23.2±2.4	16.3±1.6	3.4±1.4	14. 6±1.4	7.8±1.2	32.5±3.3
未補光(第二層)	5.8±3.2	8.4±1.7	17.5±4.1	9.9±1.7	0	10.8±2.4	3.5±0.8	20.5±2.5

z 播種：101 年 8 月 1 日、定植：8 月 13 日、採收：9 月 15 日

表 3 圓葉茼蒿(1 株/盆)於不同補光處理下植株園藝性狀(第 3 期作 z)

補光處理	單株重 (g)	株高 (cm)	株寬 (cm)	葉數	側芽數	葉長 (cm)	葉寬 (cm)	SPAD
自然光照	27.9±1.2	10.4±0.4	23.8±0.9	12.5±0.3	2.3±0.4	16.4±0.3	7.5±0.3	26.0±0.6
LED 補光(第二層)	32.6±1.4	8.9±0.5	23.7±0.6	12.9±0.9	3.8±0.6	14.3±0.4	7.8±0.4	31.8±1.2
LED 補光(第三層)	29.7±1.2	8.5±0.4	23.5±0.5	12.6±0.3	2.6±0.3	13.4±0.3	7.4±0.2	34.4±0.7
T5 補光(第二層)	28.6±1.7	8.8±0.4	22.2±0.6	12.4±0.6	2.7±0.4	13.8±0.5	8.1±1.1	32.6±0.8
T5 補光(第三層)	30.7±1.7	8.5±0.4	23.0±0.6	12.6±0.5	4.0±0.5	13.9±0.4	8.3±1.0	31.7±0.9

z 播種：101 年 9 月 10 日、定植：9 月 26 日、採收：10 月 15 日

表 4 圓葉茼蒿於不同補光處理下植株園藝性狀(第 4 期作 z)

補光處理	單株重 (g)	株高 (cm)	株寬 (cm)	葉數	側芽數	葉長 (cm)	葉寬 (cm)	SPAD
自然光照	20.4±1.7	7.5±0.3	22.3±1.1	12.3±0.3	2.4±0.3	14.9±0.7	6.8±0.2	28.6±1.0
LED 補光(第二層)	19.2±1.0	7.7±0.6	23.0±0.6	11.3±0.3	1.9±0.4	15.1±0.4	7.2±0.2	29.0±0.8
LED 補光(第三層)	17.2±0.8	9.3±0.7	23.8±0.9	11.3±0.4	1.8±0.4	15.3±0.5	7.1±0.2	25.6±0.8
T5 補光(第二層)	27.6±2.9	8.4±2.5	24.3±2.0	12.2±1.6	2.2±0.9	16.2±1.3	8.1±3.3	29.4±1.2
T5 補光(第三層)	30.9±1.7	9.0±0.4	10.4±0.7	11.8±0.6	4.1±0.4	15.5±0.4	8.0±0.3	31.4±0.8

z 播種：101 年 10 月 8 日、定植：10 月 24 日、採收：11 月 13 日

表 5 圓葉茼蒿於不同補光處理下植株園藝性狀(第 5 期作 z)

補光處理	單株重 y (g)	株高 (cm)	株寬 (cm)	葉數	側芽數	葉長 (cm)	葉寬 (cm)	SPAD
自然光照	16.2±1.0	14.3±0.6	21.4±0.5	12.9±0.7	0.3±0.2	14.8±0.4	6.0±0.2	22.3±0.5
LED 補光	42.9±2.0	13.9±0.4	23.5±1.1	15.0±0.7	3.2±0.4	15.6±0.3	7.3±0.2	31.0±0.8
T5 補光	55.8±5.7	14.1±0.6	27.4±0.9	16.2±0.5	4.2±0.6	17.4±0.6	8.8±0.4	28.6±0.8

z 播種：101 年 12 月 12 日、定植：12 月 28 日、採收：1 月 18 日

表 6 圓葉茼蒿於不同補光處理下植株園藝性狀(第 6 期作 z)

補光處理	單株重 y (g)	株高 (cm)	株寬 (cm)	葉數	側芽數	葉長 (cm)	葉寬 (cm)	SPAD
自然光照	44.9±2.9	20.9±0.5	21.2±0.7	17.7±0.7	3.6±0.6	18.5±0.4	9.0±0.3	23.8±0.9
LED 補光	62.6±4.0	17.4±0.5	25.1±0.7	17.8±0.9	5.5±0.7	18.9±0.5	9.9±0.3	26.8±0.8
T5 補光	68.7±4.7	18.1±0.5	24.9±1.3	17.1±1.2	4.9±0.5	17.8±0.7	9.8±0.5	30.1±0.9

z 播種：102 年 2 月 10 日、定植：2 月 26 日、採收：3 月 19 日

四、討論

本計畫有關環境控制方面有多次修改，至第四期作之後已穩定。人工光源補光，光照最高可達 500-600 μmol-m^{-2}-sec^{-1}，惟第四期作之後控制在 200 μmol-m^{-2}-sec^{-1}。本研究之前置試驗時，曾測試萵苣、茼蒿以及芫荽之光飽和點，茼蒿的光飽和點約為 1300 μmol-m^{-2}-sec^{-1}；惟光合作用效率與 PAR 值呈 2 次曲線相關，PAR 500 μmol-m^{-2}-sec^{-1} 以下有較高的變化斜率，於此光照區段內，人工光源補光的增產效率較佳。

根箱溫控系統開發之目的在於將能源有效用於作物生長區域，控溫以蔬菜葉片周圍溫度為目標。由第一期種植至第四期收穫間，作物群落周圍之高溫控制在 25-30℃之間，偶而出現高於 30℃情形。根箱內溫度至第四期作之後可穩定控制在 23-26℃之間。

第一期作第二層及第三層雖有補光處理，惟其日間光照分別在 100 與 200 μmol-m^{-2}-sec^{-1}，造成植株生長遲緩受抑制，第一層(最上層)為自然光照，日間光照平均值約為 500 最高值則在 700 μmol-m^{-2}-sec^{-1}，顯示溫室內之光照受環境影響，明顯低於室外空曠地。第二期作試驗結果顯示，補光與自然光照處理間，顯著性差異存在。第二期作受陰雨影響，自然日照不足；補光處理明顯提高單株重量，也較不易發生徒長現象。補光處理之第一與第二層其日間光照，分別在 500 與 600 μmol-m^{-2}-sec^{-1}，其單株重更高於第一期作自然日照處理的表現。

第四期作以後第二層及第三層補光處理的日間光照穩定調整在 200-300 μmol-m^{-2}-sec^{-1} 之間。第四、五、六期作以 T5 燈管補光下植株生育情形最佳，單株重最大、側芽數多；LED 補光次之、自然光照最差。第六期作自定植至採收，第一層、第二層及第三層的平均累積光量分別為 6.5、10.4 與 9.5 mol-m^{-2}-day^{-1}；康乃爾大學溫室水耕栽培萵苣生產之平均累積光量則以 17 mol/m^2/light/day 為最適生長(頂燒最低)。

參考文獻

1. 古在豐樹. 2009.太陽光型植物工廠_永續性的先進植物工廠. 譯者方煒.2011. 豐年社.
2. Bakker, J.C., G.P.A. Bot, H. Challa and N.J. Van de Braak. 1995. Greenhouse Climate Control. Wageningen academic publish, p276.
3. Both, A.J. Ten Years of Hydroponic Lettuce Research. web site: http://knowledgecenter.illumitex.com/wp-content/uploads/2013/08/ten-years-of-hydroponic-lettuce-research.pdf
4. Bresl, Wlodzimierz and Leslie A., Weston, 1992. Nutrient Accumulation and Tipburn in NFT-grown Lettuce at Several Potassium and pH Levels. Hortscience, 27(7):790-792
5. Morrow R. C. 2008. LED lighting in horticulture. HortScience, 43(7): 1947–1 950.
6. Thompson, H. C., Langhans, R.W., Both, Arend-Jan, and L.D. Albright. 1998. Shoot and root temperature effects on lettuce growth in a floating hydroponic system. J. Amer. Hort. Sci. 123 (3): 361-364.
7. Sonneveld, C., Voogt, W. 2009. Plant Nutrition of Greenhouse Crops. Springer
8. Steingrover, E.G., J.W.Steenhuizen, J. Van Der Boon. 1993. Effects of low light intensities at night on NO3 accumulation in lettuce grown on a re-circulating nutrient solution. Netherlands J. Agri.

The production of Anti-season Vegetables in Summer Using a Canopy Zone Cooling Technique

Yu-Hua Wang[1], Ming-Hwi Yao[2,4], Wei-Min Hsiang[3]

[1] Associate Researcher, Taiwan Agricultural Research Institute, COA
[2] Researcher, Taiwan Agricultural Research Institute, COA
[3] Researcher, Taiwan Agricultural Research Institute, COA
[4] Corresponding author, e-mail: mhyao@tari.gov.tw

Abstract

The main problem of vegetables production in Taiwan is the high temperature causes the crop physiological disorder in summer, and the input of energy for greenhouse cooling makes cost increase and decrease the competition of products. In this research, utilizes the cooling system to regulate the temperature of canopy zone of crops with the minimum energy input during hot weather, want to decrease the temperature and produce the high-quality vegetables in plastic greenhouse in summer. Chrysanthemum (Chrysanthemum coronarium L.) is a goal crop always produces in chilly winter in Taiwan.

The cooling technique was tested eight growing season from June of 2012 to July of 2013. In order to increase light integral for vertical production in greenhouse, We used T5 and LED lamp as supplemental lighting source, to light the crop planting on lower floors of the culture rack, could enrich the illumination to 500 to 600 $\mu mol\text{-}m^{-2}\text{-}sec^{-1}$ PAR. After 4th growing season we controlled the illumination around 200$\mu mol\text{-}m^{-2}\text{-}sec^{-1}$. As well as the cooling systems could decrease the highest temperature of vegetables canopy to a degree, between 25 and 30 oC in the daytime, and the root zone temperature was between 23 and 26oC.

The sun light was extremely unstable in the greenhouse, and it is influenced by climate. It is clear that supplemental lighting was needed throughout the year in order to provide the plants with a consistent daily integrated light level. In the recent four seasons we grown crops with a light intensity between 200 and 300 $\mu mol\text{-}m^{-2}\text{-}sec^{-1}$, and got good crop development as well as crop production.

Keywords: Plastic greenhouse vegetables production, Vertical production, Greenhouse environment control